

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. Februar 2002 (07.02.2002)

PCT

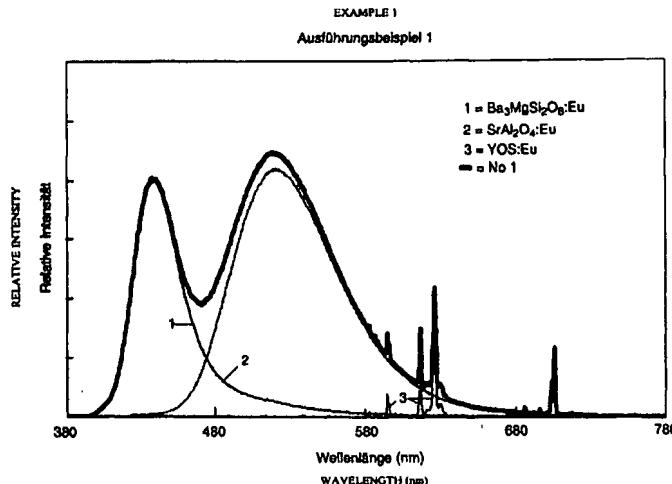
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 02/11214 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01L 33/00 (72) Erfinder; und
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/02849 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOKOR, Dieter [DE/DE]; Eichenstr. 1, 82024 Taufkirchen (DE). ELL-LENS, Andries [NL/DE]; Hofangerstr. 133, 81735 München (DE). HUBER, Günter [DE/DE]; Scheyerer Str. 78a, 86529 Pfaffenhofen (DE). ZWASCHKA, Franz [DE/DE]; Egerländerstr. 31, 85737 Ismaning (DE). JERMANN, Frank [DE/DE]; Rotkäppchenstr. 98, 81739 München (DE). KOBUSCH, Manfred [DE/DE]; Rudolf-Zorn-Str. 4, 81739 München (DE). OSTERTAG, Michael [DE/DE]; Cincinnatistr. 50, 81549 München (DE). ROSSNER, Wolfgang [DE/DE]; Dekan-Imminger-Str. 25, 83607 Holzkirchen (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 27. Juli 2001 (27.07.2001)
(25) Einreichungssprache: Deutsch
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität: 100 36 940.5 28. Juli 2000 (28.07.2000) DE
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): PATENT TREUHAND GESELLSCHAFT FÜR ELEKTRISCHE GLÜHLAMPEN MBH [DE/DE]; Hellabrunner Str. 1, 81543 München (DE). OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH & CO. OHG [DE/DE]; Werner-Werk-Str. 2, 93049 Regensburg (DE).
(74) Anwalt: POKORNY, Gerd; c/o Osram GmbH, Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, KR, US.
(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ILLUMINATION DEVICE WITH AT LEAST ONE LED AS THE LIGHT SOURCE

(54) Bezeichnung: BELEUCHTUNGSEINHEIT MIT MINDESTENS EINER LED ALS LICHTQUELLE



(57) Abstract: The invention relates to a luminescence conversion LED based illumination device that emits primarily radiation in the range of from 370 and 430 nm of the optical spectrum (peak wavelength). Said radiation is converted to radiation having a longer wavelength using three luminescent substances that emit in the red, green and blue range.

WO 02/11214 A1

(57) Zusammenfassung: Beleuchtungseinheit auf Basis einer Lumineszenz-Konversions-LED, die primär Strahlung im Bereich zwischen 370 und 430 nm des optischen Spektralbereichs emittiert (Peakwellenlänge), wobei diese Strahlung unter Zuhilfenahme von drei Leuchttstoffen, die im Roten, Grünen und Blauen emittieren, in längerwellige Strahlung konvertiert wird.

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CN, JP, KR, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)*
- *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten CN, JP, KR, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)*

- *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US*

Veröffentlicht:

- *mit internationalem Recherchenbericht*
- *vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen*

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

**Patent-Treuhand-Gesellschaft
für elektrische Glühlampen mbH., München**

Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle

Technisches Gebiet

Die Erfindung geht aus von einer Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Es handelt sich insbesondere um eine im Sichtbaren oder Weißen emittierenden Lumineszenz-Konversions-LED auf der Basis einer primär im nahen UV oder kurzweligen Blau emittierenden LED.

Stand der Technik

- 5 LEDs, die weißes Licht abgeben, werden derzeit vorwiegend durch die Kombination einer im Blauen bei etwa 460 nm emittierenden Ga(In)N-LED und eines gelb emittierenden YAG:Ce³⁺-Leuchtstoffs erzeugt (US 5 998 925 und EP 862 794). Allerdings sind diese Weißlicht-LEDs für Zwecke der Allgemeinbeleuchtung wegen ihrer schlechten Farbwiedergabe aufgrund fehlender Farbkomponenten (vor allem der Rot-Komponente) nur eingeschränkt zu gebrauchen. Statt dessen wird auch versucht, primär blau emittierende LEDs mit mehreren Leuchtstoffen zu kombinieren um die Farbwiedergabe zu verbessern, siehe WO 00/33389 und WO 00/33390.

- 15 Grundsätzlich ist außerdem bekannt, weiß emittierende LEDs auch mit sogenannten organischen LEDs zu realisieren oder durch Zusammenschalten monochromer LEDs mit entsprechender Farbmischung. Meist wird eine UV LED (Emissionsmaximum zwischen 300 und 370 nm) verwendet, die mittels mehrerer Leuchtstoffe, meist drei, die im roten, grünen und blauen Spektralbereich emittieren (RGB-Mischung) in weißes Licht umgewandelt werden (WO 98 39 805, WO 98 39 807 und WO 97 48 138). Als blaue Komponente sind als anorganische Leuchtstoffe BaMgAl₁₀O₁₇:Eu²⁺ oder ZnS:Ag⁺ bekannt; als blaugrüne Komponente ZnS:Cu⁺, oder (Zn,Cd)S:Cu⁺, oder ZnS:(Al,Cu)⁺; als rote Komponente Y₂O₃:Eu²⁺. Außerdem wird eine Reihe organischer Leuchtstoffe empfohlen.

Für weiß emittierende Quellen von hoher Lichtqualität mit kleinen Dimensionen oder als Hintergrundbeleuchtung von z. B. LCDs sind Leuchtstofflampen und Glühlampen wenig geeignet. OLEDs sind dazu zwar besser geeignet, allerdings ist die UV-Beständigkeit von organischen Leuchtstoffen im Vergleich zu anorganische

5 Leuchtstoffen schlechter. Außerdem sind die Herstellkosten höher. Blaue LEDs mit dem Leuchtstoff YAG:Ce³⁺ (und davon abgeleiteten Granaten) sind prinzipiell ebenfalls geeignet, jedoch bestehen Nachteile in der Farboreinstellung: Nur in beschränkter Weise kann der Farbort derart gewählt werden, dass weißes Licht entsteht, das eine gute Farbwiedergabe ermöglicht, da der weiße Farbeindruck primär

10 durch die Mischung blauer Emission der LED und gelber Emission des Leuchtstoffs entsteht. Der Nachteil von Leuchtstofflampen und UV-(O)LEDs besteht darin, dass UV-Energie in sichtbares Licht mit einer schlechten Energieeffizienz umgewandelt wird: UV-Strahlung (in Leuchtstofflampen 254 und 365 nm; in UV LEDs 300 - 370 nm) einer Wellenlänge von z. B. 254 nm wird umgewandelt in Licht mit einer Wellenlänge von 450-650 nm. Das bedeutet einen Energieverlust von 40 bis 60 % bei

15 einer theoretischen Quanteneffizienz von 100%.

Organische Leuchtstoffe sind im allgemeinen schwieriger herzustellen als anorganische Leuchtstoffe, und sind darüber hinaus im allgemeinen zu instabil, um in Lichtquellen hoher Lebensdauer (z. B. über 30.000 Stunden) eingesetzt werden zu können.

Dieser Stand der Technik hat einige bedeutende Nachteile hinsichtlich der Energieeffizienz der Kombination aus LED und Leuchtstoffen und/oder der Stabilität der Leuchtstoffe und/oder Beschränkungen hinsichtlich der geometrischen Dimensionen.

Darstellung der Erfindung

25 Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bereitzustellen, die sich durch hohe Effizienz auszeichnet.

Diese Aufgaben werden durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Besonders vorteilhafte Ausgestaltungen finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

Die Erfindung ist besonders vorteilhaft im Zusammenhang mit der Entwicklung einer 5 im Sichtbaren bzw. Weißen emittierenden LED. Diese LED kann hergestellt werden durch Kombination einer im nahen UV oder sehr kurzwelligem blaues Licht (hier zusammenfassend als „kurzwellig“ bezeichnet) emittierenden LED mit einer Emissionswellenlänge zwischen 370 und 430 nm und mindestens einem der unten angeführten Leuchtstoffe, der die Strahlung der LED ganz oder teilweise absorbiert und 10 selbst in Spektralbereichen emittiert, deren additive Mischung mit dem Licht der LED und /oder anderen Farbstoffen weißes Licht mit guter Farbwiedergabe oder Licht mit einem gewünschten Farbort ergibt. Je nach Anwendung kann ein einziger Leuchtstoff mit den erfindungsgemäßigen Eigenschaften ausreichen. Evtl. kann er auch mit einem oder mehreren anderen erfindungsgemäßigen Leuchtstoffen oder 15 Leuchtstoffen anderer Klassen, beispielsweise vom Typ YAG:Ce, kombiniert werden. Das blaue Licht der LED ist hier nicht (oder kaum) direkt nutzbar, im Gegensatz zum Stand der Technik, der längerwelliges Blau (430 bis 480 nm) verwendet, sondern eignet sich nur zur primären Anregung der Leuchtstoffe.

Eine primäre Strahlungsquelle, deren Emission viel näher an der Wellenlänge 20 liegt, bei der die Leuchtstoffe emittieren, kann die Energieeffizienz erheblich steigern. Bei einer Quelle, die bei 400 nm emittiert, reduziert sich zum Beispiel der Energie-Verlust schon auf nur noch 12 bis 39%.

Das technische Problem liegt in der Entwicklung und Produktion ausreichend effizienter Leuchtstoffe, die im spektralen Bereich zwischen 370 nm und 430 nm anregbar sind und gleichzeitig ein passendes Emissionsverhalten zeigen. 25

Um eine farbige oder weiße LED zu realisieren, wird ein erfindungsgemäßer Leuchtstoff, evtl. in Verbindung mit einem oder mehreren anderen Leuchtstoffen mit einem möglichst transparenten Bindemittel kombiniert (EP 862 794). Der Leuchtstoff absorbiert das Licht der UV/Blau-Licht emittierenden LED ganz oder teilweise und 30 emittiert es in anderen Spektralbereichen wieder breitbandig, so dass eine Gesamtmission mit gewünschtem Farbort entsteht. Bisher gibt es kaum Leuchtstoffe, die diese Anforderungen so gut erfüllen wie die hier beschriebenen Leuchtstoffe. Sie

zeigen eine hohe Quanteneffizienz (typisch 70 %) und gleichzeitig eine spektrale Emission, die aufgrund der Empfindlichkeit des Auges als hell empfunden wird. Der Farbort lässt sich in einem weiten Bereich einstellen. Zu den Vorteilen dieser Leuchtstoffe zählen außerdem ihre relativ leichte, umweltschonende Herstellbarkeit, 5 seine Ungiftigkeit und seine relativ hohe chemische Stabilität.

Die Erfindung betrifft insbesondere eine Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle (light emitting diode), die besondere spezifisch gewünschte Farbtöne erzeugt (beispielsweise Magenta) oder die beispielsweise weißes Licht erzeugt, indem eine primär kurzwellig (also UV bis blau im Bereich 370 bis 430 nm) 10 emittierende Strahlung mittels mehrerer Leuchtstoffe in Weiß konvertiert wird: entweder durch Mischung der sekundären Strahlung eines blau und gelb emittierenden Leuchtstoffs oder insbesondere durch RGB-Mischung aus drei Leuchtstoffen die rot, grün und blau emittieren. Für besonders hohe Anforderungen an die Farbwiedergabe können auch mehr als drei Leuchtstoffe kombiniert werden. Zu diesem 15 Zweck kann auch einer der erfindungsgemäß eingesetzten Leuchtstoffe mit anderen, bereits für diese Verwendung bekannten Leuchtstoffen wie beispielsweise SrS:Eu (WO 00/33390) oder YAG:Ce (US 5 998 925) kombiniert werden.

Als primär kurzwellig emittierende LED eignet sich insbesondere eine Ga(In,Al)N-LED, aber auch jeder andere Weg zur Erzeugung einer kurzweligen LED mit einer 20 primären Emission im Bereich 370 bis 430 nm.

Die Erfindung erweitert die spektrale Emissionscharakteristik von LEDs indem über den gegenwärtige Kenntnisstand hinaus weitere Leuchtstoffe und deren Mischungen Anwendung finden (siehe Tab. 1 bis 3). Dabei kann die Auswahl der angewendeten Leuchtstoffe und Mischungen hiervon so getroffen werden, das neben 25 farbechten Weiß auch andere Mischfarben mit breitbandiger Emission erzeugt werden. Generell wird das emittierte Licht der LED von der Mischung, die Leuchtstoffe enthält, absorbiert. Diese Mischung ist entweder direkt auf der LED aufgebracht oder in einem Harz oder Silikon dispergiert oder aufgebracht auf einer transparenten Scheibe über einer LED oder aufgebracht auf einer transparenten Scheibe über 30 mehreren LEDs.

Der erfinderische Schritt besteht darin, dass durch die Verwendung von LEDs mit Emissionswellenlängen zwischen 370 und 430 nm (unsichtbar oder kaum sichtbares

tiefblau) und die Verwendung von Leuchtstoffen, die unten aufgelistet sind, eine verbesserte spektrale Anpassung der LED-Emission ermöglicht wird und beliebige Farborte einstellbar werden, und zwar mit einer höheren Energieeffizienz als mit den konventionellen LEDs.

- 5 Anorganische Leuchtstoffe, die relativ langwellig anregbar sind, sind derzeit kaum bekannt. Überraschenderweise hat sich jedoch gezeigt, dass es eine Anzahl von anorganischen Leuchtstoffen gibt, die geeignet sind, um mit Strahlung einer Peak-Emissions-Wellenlänge von 370-430 nm noch effizient angeregt zu werden. Typische Halbwertsbreiten der Emission liegen bei 20 nm bis 50 nm. Die Absorption der
- 10 Leuchtstoffe kann durch die gewählten Strukturparameter und chemische Zusammensetzung gesteuert werden. Solche Leuchtstoffe haben alle eine relativ kleine Bandlücke (typisch etwa 3 eV) oder sie haben ein starkes Kristallfeld für das Ion, welches das von der LED emittierte UV/Blau -Licht um 400 nm absorbiert.

Abhängig von der gewählten Lumineszenzwellenlänge der LED (370-430 nm) und 15 abhängig von der gewünschten Farbwiedergabe und /oder dem gewünschten Farbort können bestimmte Kombinationen von Leuchtstoffen in der Leuchtstoffmischung gewählt werden. Die am besten geeignete Leuchtstoffmischung ist somit vom gewählten Ziel (Farbwiedergabe, Farbort, Farbtemperatur) und der vorhandenen LED-Emissionswellenlänge abhängig.

- 20 Jeder Leuchtstoff, der die oben erwähnten Bedingungen erfüllt, ist im Prinzip geeignet für die Anwendung. Leuchtstoffe, die effizient emittieren und im Gebiet von 370-430 nm effizient anregbar oder zumindest teilweise anregbar sind, sind in den folgenden Tabellen aufgeführt. Tab. 1 beschreibt geeignete blaue Leuchtstoffe mit einer Wellenlänge der Peakemission von 440 bis 485 nm, Tab. 2 geeignete grüne
- 25 Leuchtstoffe mit einer Wellenlänge der Peakemission von 505 bis 550 nm und Tab. 3 geeignete rote Leuchtstoffe mit Wellenlänge der Peakemission von 560 bis 670 nm. Damit ist es erstmals möglich, LEDs mit hoher Effizienz herzustellen, die auf einer kurzwellig emittierenden Diode basieren, die mehrere Leuchtstoffe anregt.

Tabelle 1: Blau emittierende Leuchtstoffe:

$M_5(PO_4)_3(X):Eu^{2+}$ mit M = zumindest eines der Metalle Ba, Ca allein oder in Kombination mit Sr (bevorzugt ist Anteil Sr höchstens 85%), wobei X = zumindest eines der Halogene F oder Cl;

5 $M^*3MgSi2O8:Eu^{2+}$ mit M = zumindest eines der Metalle Ba, Ca, Sr allein oder in Kombination

$Ba_5SiO_4Br_6:Eu^{2+}$

$Ba_{1,29}Al_{12}O_{19,29}:Eu^{2+}$

$YSiO_2N:Ce^{3+}$

10 $(Sr,Ba)_2Al_6O_{11}:Eu^{2+}$

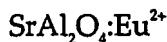
$MF_2:Eu^{2+}$ mit M = zumindest eines der Metalle Ba, Sr, Ca; bevorzugt ist der Anteil des Ba an M > 5 %, beispielsweise Ba = 10 %, also M = $Ba_{0,10}Sr_{0,45}Ca_{0,45}$.

$Ba_{0,57}Eu_{0,09}O_{0,34}Al_{11,11}O_{17}:Eu^{2+}$

15 $M^{**}MgAl10O17:Eu^{2+}$ mit M^{**} = zumindest eines der Metalle Eu, Sr allein oder in Kombination mit Ba (bevorzugt ist Anteil Ba höchstens 75%);

$MLn2S4:Ce^{3+}$ mit M = eine Kombination der Metalle Ca, Sr; und Ln = zumindest eines der Metalle La, Y, Gd.

Tabelle 2: Grün (und Blaugrün) emittierende Leuchtstoffe



MBO₃:(Ce³⁺,Tb³⁺) mit M = zumindest eines der Metalle Sc, Gd, Lu allein oder in Kombination mit Y (imsb. ist Y-Anteil < 40%); und als Aktivator fungieren die Metalle Ce und Tb gemeinsam; insbesondere liegt der Anteil des Ce am Metall M im Bereich 5 % ≤ Ce ≤ 20 % und der Anteil des Tb am Metall im Bereich 4 % ≤ Tb ≤ 20; bevorzugt ist Anteil Ce > Anteil Tb;

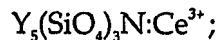
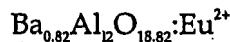
5

M₂SiO₅:(Ce³⁺,Tb³⁺) mit M = zumindest eines der Metalle Y, Gd, Lu; und als Aktivator fungieren die Metalle Ce und Tb gemeinsam (bevorzugt ist Anteil Ce > Anteil Tb);

10

MN²⁺2S4:Ak mit M = zumindest eines der Metalle Zn, Mg, Ca, Sr, Ba; mit N = zumindest eines der Metalle Al, Ga, In; und Ak = entweder eine Kombination von Eu²⁺, Mn²⁺ zusammen (bevorzugt ist Anteil Eu > Anteil Mn) oder eine Kombination von Ce³⁺, Tb³⁺ zusammen (bevorzugt ist Anteil Ce > Anteil Tb);

15



20

Ca₈Mg(SiO₄)₄Cl₂:Ak²⁺ mit Ak = Eu²⁺ allein oder mit Mn²⁺ zusammen (bevorzugt ist Anteil Eu > 2xAnteil Mn);



25

(Ba,Sr)MgAl₁₀O₁₇:Ak mit Ak = Eu²⁺ entweder in Kombination mit Ce³⁺ und Tb³⁺, oder in Kombination mit Mn²⁺; bevorzugt ist Anteil Eu am Aktivator Ak > 50 %;

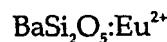


Tabelle 3: Rot (Orangerot bis Tiefrot) emittierende Leuchtstoffe

$\text{Ln}_2\text{O}_3\text{St:Ak3+}$ wobei Ln = zumindest eines der Metalle Gd, La, Lu allein oder

5 in Kombination mit Y (bevorzugt ist Anteil Y höchstens 40%; insbesondere ist Anteil La mindestens 10 %); und mit St = zumindest eines der Elemente S, Se, Te; und wobei Ak = Eu allein oder in Kombination mit Bi;

$\text{Ln}_2\text{WmO}_6\text{:Ak3+}$ wobei Ln = zumindest eines der Metalle Y, Gd, La, Lu;

10 und mit Wm = zumindest eines der Elemente W, Mo, Te; und wobei Ak = Eu allein oder in Kombination mit Bi;

$(\text{Zn},\text{Cd})\text{S:Ag+}$ wobei Zn und Cd nur in Kombination verwendet werden; bevorzugt ist Anteil Zn < Anteil Cd;

$\text{Mg}_{28}\text{Ge}_{7,5}\text{O}_{38}\text{F}_{10}:\text{Mn}^{4+}$

$\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$

15 $\text{M}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8:\text{Eu}^{2+},\text{Mn}^{2+}$ mit M = zumindest eines der Metalle Ca, Ba, Sr.

$(\text{M1})_2(\text{M2})(\text{BO}_3)_2:\text{Eu}^{2+}$ mit M1 = zumindest eines der Metalle Ba, Sr; und mit M2 ist zumindest eines der Metalle Mg,Ca; bevorzugt ist der Anteil Ba am Kation M1 mindestens 80 %; bevorzugt ist der Anteil Mg am Metall M2 mindestens 70%.

20

Es wird angemerkt, dass der Aktivator im allgemeinen jeweils einen Anteil des führenden Kations (= Metall, insbesondere ein Lanthanid Ln) ersetzt, beispielsweise steht MS:Eu(5 %) für $\text{M}_{1-0,05}\text{Eu}_{0,05}\text{S}$.

Die Formulierung „M = zumindest eines der Metalle X, Y;“ bedeutet entweder das Metall X oder das Metall Y allein oder aber eine Kombination beider Metalle, also M = X_aY_b mit $a+b = 1$.

Bei einer weißen LED wird ein Aufbau ähnlich wie im eingangs erwähnten Stand der Technik beschrieben verwendet. Als UV-Diode (primäre Strahlungsquelle) wird bevorzugt GaInN oder GaN oder GaInAlN verwendet. Beispielsweise hat sie eine Peakwellenlänge von 400 nm und eine Halbwertsbreite von 20 nm. Das Diodensubstrat wird mit einer Suspension aus drei Leuchtstoffen, je einer mit einem Emissionsmaximum im Roten, Grünen und Blauen Spektralbereich direkt oder indirekt beschichtet. Von diesen Leuchtstoffen ist zumindest einer ausgewählt aus den Tabellen 1 bis 3, und kombiniert entweder mit bekannten Leuchtstoffen oder mit Leuchtstoffen aus den anderen Tabellen. Die Leuchtstoffmischung wird bei etwa 200 °C eingebrannt. Damit wird eine Farbwiedergabe von typisch 80 erzielt.

Im folgenden soll die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert werden. Es zeigen:

15 Figur 1 ein Halbleiterbauelement, das als Lichtquelle (LED) für weißes Licht dient;

Figur 2 eine Beleuchtungseinheit mit Leuchtstoffen gemäß der vorliegenden Erfindung;

Figur 3 bis 17 das Emissionsspektrum von LEDs mit verschiedenen Leuchtstoffmischungen gemäß der vorliegenden Erfindung.

Beschreibung der Zeichnungen

20 Für den Einsatz in einer weißen LED zusammen mit einem GaInN-Chip wird beispielsweise ein Aufbau ähnlich wie in US 5 998 925 beschrieben verwendet. Der Aufbau einer derartigen Lichtquelle für weißes Licht ist in Figur 1 explizit gezeigt. Die Lichtquelle ist ein Halbleiterbauelement (Chip 1) des Typs InGaN mit einer Peak-Emissionswellenlänge von 420 nm und einer Halbwertsbreite von 25 nm mit einem ersten und zweiten elektrischen Anschluss 2,3, das in ein lichtundurchlässiges Grundgehäuse 8 im Bereich einer Ausnehmung 9 eingebettet ist. Einer der Anschlüsse 3 ist über einen Bonddraht 14 mit dem Chip 1 verbunden. Die Ausnehmung hat eine Wand 17, die als Reflektor für die blaue Primärstrahlung des Chips 1 dient. Die Ausnehmung 9 ist mit einer Vergussmasse 5 gefüllt, die als Hauptbestandteile ein Epoxidgießharz (80 bis 90 Gew.-%) und Leuchtstoffpigmente 6 (weni-

ger als 15 Gew.-%) enthält. Weitere geringe Anteile entfallen u.a. auf Methylether und Aerosil. Die Leuchtstoffpigmente sind eine Mischung. Der erste Konversions-Leuchtstoff ist aus Tab. 1 ausgewählt. Der zweite Leuchtstoff ist aus Tab. 2 und der dritte aus Tab. 3 ausgewählt.

5 In Figur 2 ist ein Ausschnitt aus einer Flächenleuchte 20 als Beleuchtungseinheit gezeigt. Sie besteht aus einem gemeinsamen Träger 21, auf den ein quaderförmiges äußerer Gehäuse 22 aufgeklebt ist. Seine Oberseite ist mit einer gemeinsamen Abdeckung 23 versehen. Das quaderförmige Gehäuse besitzt Aussparungen, in denen einzelne Halbleiter-Bauelemente 24 untergebracht sind. Sie sind UV-10 emittierende Leuchtdioden mit einer Peakemission von 380 nm. Die Umwandlung in weißes Licht erfolgt mittels Konversionsschichten, die direkt im Gießharz der einzelnen LED sitzen ähnlich wie in Figur 1 beschrieben oder Schichten 25, die auf allen der UV-Strahlung zugänglichen Flächen angebracht sind. Dazu zählen die innen liegenden Oberflächen der Seitenwände des Gehäuses, der Abdeckung und des 15 Bodenteils. Die Konversionsschichten 25 bestehen aus drei Leuchtstoffen, die im gelben, grünen und blauen Spektralbereich emittieren unter Benutzung zumindest einen der erfindungsgemäßen Leuchtstoffe aus Tab. 1 bis 3.

Einige konkrete Ausführungsbeispiele von in Kombination untersuchten Leuchtstoffen sind in Tab. 4 zusammengefasst. Es handelt sich um eine Zusammenfassung 20 geeigneter erfindungsgemäßer und an sich bekannter Leuchtstoffe in allen drei Spektralbereichen. In Sp. 1 ist die Versuchsnummer angegeben, in Sp. 2 die chemische Formel des Leuchtstoffs, in Sp. 3 das Emissionsmaximum des Leuchtstoffs, in Sp. 4 und 5 die x- und y- Farbortkoordinaten. In Sp. 6 und 7 sind die Reflektivität und die Quanteneffizienz (jeweils in Prozent) angegeben.

25 Besonders bevorzugt ist auch die Anwendung der ZnS-Leuchtstoffe für LEDs. Sie zeigen ein gutes Verarbeitungsverhalten in der LED-Umgebung. Es handelt sich dabei vor allem um den blau emittierenden Leuchtstoff ZnS:Ag, den grün emittierenden Leuchtstoff ZnS:Cu,Al und den rot emittierenden Leuchtstoff ZnS:Cu,Mn aus Tab. 4. Besonders hervorzuheben ist, dass sich mit diesen drei Leuchtstoffen eine weiß emittierende Leuchtstoff-Mischung 30 realisieren lässt, unter Anregung durch eine LED mit Primärstrahlung im Bereich 370 bis 410 nm, siehe Ausführungsbeispiel 6 in Fig. 6. Da diese drei Leuchtstoffe chemisch nahezu identische Materialien sind, lassen sie sich sehr gut als Leuchtstoffmischung in einem Gießharz oder anderem Harz oder bei einer Beschlammung verarbeiten.

Tab. 4

Nr. Formel	Em	x	y	R (%)	Q.E (%)
1 $\text{Ba}_3\text{MgSi}_2\text{O}_8$: Eu (5%)	440	0,16	0,07	42	50
2 $(\text{Ba}_{0,15}\text{Sr}_{0,85})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$:Eu2+	448	0,15	0,05	46	76
3 ZnS :Ag	452	0,14	0,07	76	63
4 $(\text{Ba},\text{Sr})\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}$:Eu2+	454	0,15	0,08	49	83
5 $\text{SrMgAl}_{10}\text{O}_{17}$:Eu2+	467	0,15	0,19	63	92
6 $\text{EuMgAl}_{10}\text{O}_{17}$	481	0,17	0,31	35	63
7 ZnS :Cu	506	0,19	0,43	22	48
8 $\text{Ba}_{0,74}\text{Eu}_{0,08}\text{Al}_{12}\text{O}_{18,82}$	507	0,22	0,43	52	87
9 $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2$:Eu2+	508	0,17	0,6	34	67
10 ZnS :Cu	510	0,2	0,46	16	55
11 $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$:Eu2+,Mn2+	513	0,14	0,21	64	95
12 $\text{Ba}_{0,72}\text{Eu}_{0,05}\text{Mn}_{0,05}\text{Al}_{12}\text{O}_{18,82}$	514	0,21	0,48	71	97
13 $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}$:Eu2+,Mn2+	515	0,14	0,65	39	88
14 $(\text{Sr},\text{Ba})\text{SiO}_4$:Eu2+	517	0,23	0,61	54	
15 SrAl_2O_4 :Eu2+	523	0,29	0,58	28	77
16 ZnS :Cu,Al	534	0,31	0,61	29	83
17 YBO_3 :(Ce3+,Tb3+) (9.5%/5%)	545	0,34	0,59	80	69
18 $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2$:Eu2+, Mn2+	550	0,38	0,57	30	61
19 $\text{Sr}_{1,95}\text{Ba}_{0,03}\text{Eu}_{0,02}\text{SiO}_4$	563	0,44	0,53	21	
20 $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7$:Eu2+, Mn2+	570	0,32	0,27	63	46
21 ZnS :Cu,Mn	585	0,49	0,45	19	44
22 Gd_2MoO_6 :Eu3+ (20%)	610	0,66	0,34	50	
23 $\text{Y}_2\text{W}_{0,98}\text{Mo}_{0,02}\text{O}_6$:Eu ³⁺	612	0,61	0,38	68	73
24 Y_2WO_6 :Eu3+, Bi3+ (7.5%, 0.5%)	612	0,64	0,36	52	
25 Lu_2WO_6 :Eu3+, Bi3+ (7.5%, 1%)	612	0,64	0,36	65	
26 SrS:Eu2+ (2%)	616	0,63	0,37	52	91
27 La_2TeO_6 :Eu3+ (%)	617	0,66	0,34	76	
28 $(\text{La},\text{Y})_2\text{O}_2\text{S}$:Eu3+ (..)	626	0,67	0,33	84	73
29 $\text{Sr}_2\text{Si}_5\text{N}_8$:Eu2+ (10%)	636	0,64	0,36	12	70
30 $(\text{Ba},\text{Ca},\text{Sr})\text{MgSi}_2\text{O}_8$: Eu,Mn	657	0,39	0,16	47	52

Der Leuchtstoff Nr. 14 $(\text{Sr},\text{Ba})\text{SiO}_4$:Eu2+ ist im Grünen so breitbandig, dass hier auf eine separate Rotkomponente verzichtet werden.

In Tab. 6 sind schließlich 15 Ausführungsbeispiele konkreter Kombinationen von Leuchtstoffen aus Tab. 4 in Verbindung mit einer primären Lichtquelle (UV-LED) mit einem Emissionspeak im Bereich 370 bis 420 nm gezeigt. Die einzelnen UV-Dioden sind in Tab. 5 zusammengefasst, in der der Emissionspeak und der Farbort (soweit definiert, also ab 380 nm) der einzelnen Dioden angegeben ist.

In Sp. 1 bis 4 der Tab. 6 sind die Angaben aus Tab. 4 nochmals eingefügt zum besseren Abgleich. In Sp. 5 bis 10 ist die Brauchbarkeit der einzelnen Leuchtstoffe für Anregung bei verschiedenen Wellenlängen festgehalten und zwar systematisch für die kurzweligen Dioden mit Emissionspeak bei 370 bis 420 nm in Schritten von 10 nm. Die anschließenden 15 Spalten zeigen konkrete Beispiele (als Ex 1 bis Ex 15 bezeichnet) einer RGB-Mischung, also die Kombination der kurzweligen LED (die zweite Zeile gibt die gewählte Peakemission an) mit drei Leuchtstoffen aus dem roten, grünen und blauen Spektralbereich. Die in der jeweiligen Spalte angegebene Zahl bezeichnet den relativen Anteil an der spektralen Emission.

Bei einer stark kurzweligen UV-Diode, unter 380 nm, liefert die UV-Diode keinerlei Anteil an der sekundären Emission, auch wegen der starken Absorption durch die drei Leuchtstoffe.

Ab einer primären Emission von 380 nm liefert die Diode jedoch einen kleinen, mit steigender Wellenlänge steigenden Anteil im Blauen zusätzlich zum blauen Leuchtstoff. Dieser Anteil erscheint in der Tab. 5 als zusätzlicher vierter Beitrag.

Schließlich sind in den letzten beiden Zeilen der Tab. 6 die gemessenen Farbortkoordinaten des Gesamtsystems eingetragen, die einen weiten Bereich von Weißtönen in der Farbtafel abdecken. Die spektrale Verteilung dieser System ist in den Figuren 3 (entsprechend Ex 1) bis 17 (entsprechend Ex 15) dargestellt.

Als besonders geeignete Leuchtstoffe für die Anwendung in Dreifarbenmischungen unter Primärbestrahlung bei 370 bis 420 nm haben sich dabei die blau emittierenden Leuchtstoffe Nr. 2, 4 und 6, die grün emittierenden Leuchtstoffe 8, 9, 10, 13, 15, 16, 17 und 18 sowie die rot emittierenden Leuchtstoffe 26, 28 und 29 erwiesen.

Das Ausführungsbeispiel Nr. 15 verwendet eine blau emittierende Diode mit 420 nm Peakemission mit so hoher Intensität, dass sie den blauen Leuchtstoff voll ersetzen kann und nur zwei zusätzliche Leuchtstoffe im Grünen und Roten benötigt.

5 Tab. 5

Nr.	Em	x	y
UV1	370		
UV2	380	0,2	0,14
UV3	390	0,19	0,09
UV4	400	0,18	0,05
UV5	410	0,18	0,03
UV6	420	0,17	0,02

6

Ansprüche

1. Beleuchtungseinheit mit mindestens einer LED als Lichtquelle, wobei die LED primär Strahlung im Bereich von 370 bis 430 nm des optischen Spektralbereichs emittiert (Peakwellenlänge), wobei diese Strahlung teilweise oder vollständig in längerwellige Strahlung konvertiert wird durch drei Leuchtstoffe, die der primären Strahlung der LED ausgesetzt sind, und die im blauen, grünen und roten Spektralbereich emittieren, so dass weißes Licht entsteht, dadurch gekennzeichnet, dass die Konversion zumindest unter Zuhilfenahme eines Leuchtstoffs, der blau mit einem Maximum der Wellenlänge bei 440 bis 485 nm emittiert, und unter Zuhilfenahme eines Leuchtstoffs, der grün mit einem Maximum der Wellenlänge bei 505 bis 550 nm emittiert und unter Zuhilfenahme eines Leuchtstoffs, der rot mit einem Maximum der Wellenlänge bei 560 bis 670 nm emittiert, erreicht wird, wobei zumindest einer dieser drei Leuchtstoffe aus einer der Tabellen 1, 2 oder 3 stammt.
5
2. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die LED weiße Strahlung emittiert unter Verwendung von drei Leuchtstoffen, je einer aus den 10 drei Tabellen.
15
3. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als primäre Strahlungsquelle eine LED auf Basis von Ga(In,Al)N verwendet wird.
15
4. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weißes Licht erzeugt wird unter Verwendung eines blauen Leuchtstoffs:
20 $M_5(PO_4)_3(X):Eu^{2+}$ mit M = zumindest eines der Metalle Ba, Ca allein oder in Kombination mit Sr, wobei X = zumindest eines der Halogene F oder Cl; oder eines blauen Leuchtstoffs:
 $M_3^*MgSi_2O_8:Eu^{2+}$ mit M = zumindest eines der Metalle Ba, Ca, Sr allein oder in Kombination;
25 oder eines blauen Leuchtstoffs : $ZnS:Ag$ oder
 $M^{**}MgAl_{10}O_{17}:Eu^{2+}$ mit M^{**} = zumindest eines der Metalle Eu, Sr allein oder in Kombination mit Ba.
25
5. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weißes Licht erzeugt wird unter Verwendung eines grünen Leuchtstoffs:
30

$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$
 oder eines grünen Leuchtstoffs
 $\text{Ba}_{0.82}\text{Al}_{12}\text{O}_{18.82}:\text{Eu}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$
 oder eines grünen Leuchtstoffs
 5 $\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$
 oder eines grünen Leuchtstoffs
 $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}$
 oder eines grünen Leuchtstoffs $\text{ZnS}:\text{Cu}, \text{Al}$ oder
 $\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:(\text{Eu}^{2+} \text{ kombiniert mit Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{ oder mit Mn}^{2+}).$

10 6. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weißes Licht erzeugt wird unter Verwendung eines roten Leuchtstoffs
 $\text{Ln}_2\text{O}_2\text{SSt:Ak}^{3+}$ wobei $\text{Ln} =$ zumindest eines der Metalle Gd, La, Lu allein oder in Kombination mit Y; und mit St = zumindest eines der Elemente Se, Te; und wobei Ak = Eu allein oder in Kombination mit Bi;
 15 oder eines roten Leuchtstoffs $\text{ZnS}:\text{Cu}, \text{Mn}$ oder
 $\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7:\text{Ak}^{2+}$ mit Ak = zumindest eines der Metalle Eu, Mn.

7. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich 370 bis 420 nm liegt, unter Verwendung eines blauen Leuchtstoffs
 20 $\text{M}_5(\text{PO}_4)_3(\text{X}):\text{Eu}^{2+}$ mit M = zumindest eines der Metalle Ba, Ca allein oder in Kombination mit Sr, wobei X = zumindest eines der Halogene F oder Cl; oder eines Leuchtstoffs
 $\text{M}^{**}\text{MgAl}_{10}\text{O}_{17}:\text{Eu}^{2+}$ mit $\text{M}^{**} =$ zumindest eines der Metalle Eu, Sr allein oder in Kombination mit Ba.

25 8. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich unterhalb 380 nm liegt, unter Verwendung eines blauen Leuchtstoffs
 $\text{M}^*\text{MgSi}_2\text{O}_6:\text{Eu}^{2+}$ mit M = zumindest eines der Metalle Ba, Ca, Sr allein oder in

Kombination.

9. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich 370 bis 420 nm liegt, unter Verwendung eines grünen Leuchtstoffs

5 $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$

oder eines grünen Leuchtstoffs

$\text{Ca}_8\text{Mg}(\text{SiO}_4)_4\text{Cl}_2:\text{Eu}^{2+}, \text{Mn}^{2+}$

oder eines grünen Leuchtstoffs

10 $\text{Sr}_4\text{Al}_14\text{O}_25:\text{Eu}$

oder eines grünen Leuchtstoffs

$\text{BaMgAl}_{10}\text{O}_{17}:(\text{Eu}^{2+} \text{ kombiniert mit Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}, \text{ oder mit Mn}^{2+})$.

10. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich unterhalb 390 nm liegt, unter Verwendung eines grünen Leuchtstoffs

15 $\text{Ba}_{0.82}\text{Al}_{12}\text{O}_{18.82}:(\text{Eu}^{2+}, \text{Mn}^{2+})$.

11. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich unterhalb von 380 nm liegt, unter Verwendung eines roten Leuchtstoffs

20

$\text{Ln}_2\text{O}_3\text{St:Ak}^{3+}$ wobei Ln = zumindest eines der Metalle Gd, La, Lu allein oder in Kombination mit Y; und mit St = zumindest eines der Elemente S, Se, Te; und wobei Ak = Eu allein oder in Kombination mit Bi;

25 oder eines roten Leuchtstoffs

$\text{Sr}_2\text{P}_2\text{O}_7:\text{Ak}^{2+}$ mit Ak = zumindest eines der Metalle Eu, Mn;

12. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich

genbereich 370 bis 400 nm liegt, unter Verwendung eines roten Leuchtstoffs $\text{MMgSi}_2\text{O}_8\text{:Eu,Mn}$ wobei M = zumindest eines der Metalle Ba, Ca, Sr.

13. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinheit eine Lumineszenzkonversions-LED ist, bei der die Leuchtstoffe direkt oder mittelbar in Kontakt mit dem Chip stehen.
5
14. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Beleuchtungseinheit ein Feld (Array) von LEDs ist.
15. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest einer der Leuchtstoffe auf einer vor dem LED-Feld angebrachten optischen Vorrichtung angebracht ist.
10
16. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich 370 bis 410 nm liegt, unter Verwendung eines blauen Leuchtstoffs ZnS:Ag .
- 15 17. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich 370 bis 410 nm liegt, unter Verwendung eines grünen Leuchtstoffs ZnS:Cu,Al wobei Cu und Al gemeinsam verwendet werden.
- 20 18. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich 370 bis 410 nm liegt, unter Verwendung eines roten Leuchtstoffs ZnS:Cu,Mn , wobei Cu und Mn gemeinsam verwendet werden..
- 25 19. Beleuchtungseinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung von weißem Licht die primär emittierte Strahlung im Wellenlängenbereich 370 bis 410 nm liegt, unter gemeinsamer Verwendung eines blauen, grünen und roten Leuchtstoffs gemäß den Ansprüchen 16, 17, und 18.

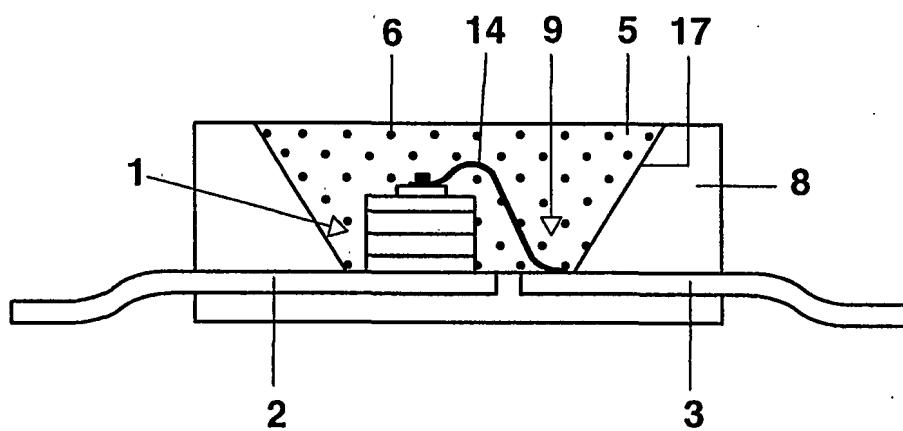


FIG. 1

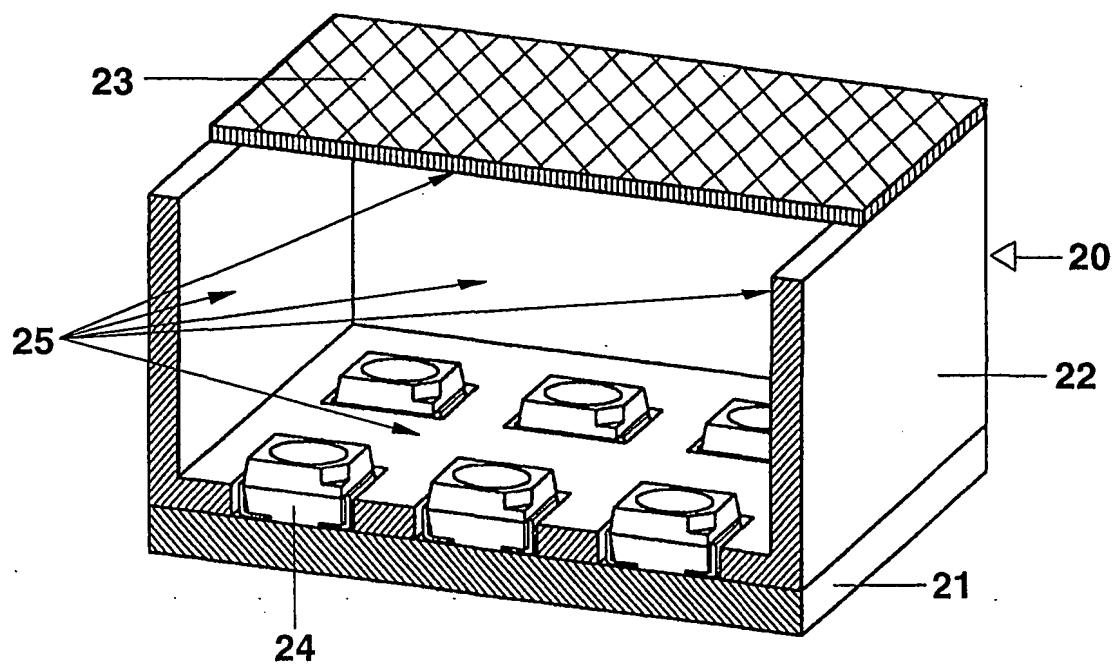


FIG. 2

Ausführungsbeispiel 1

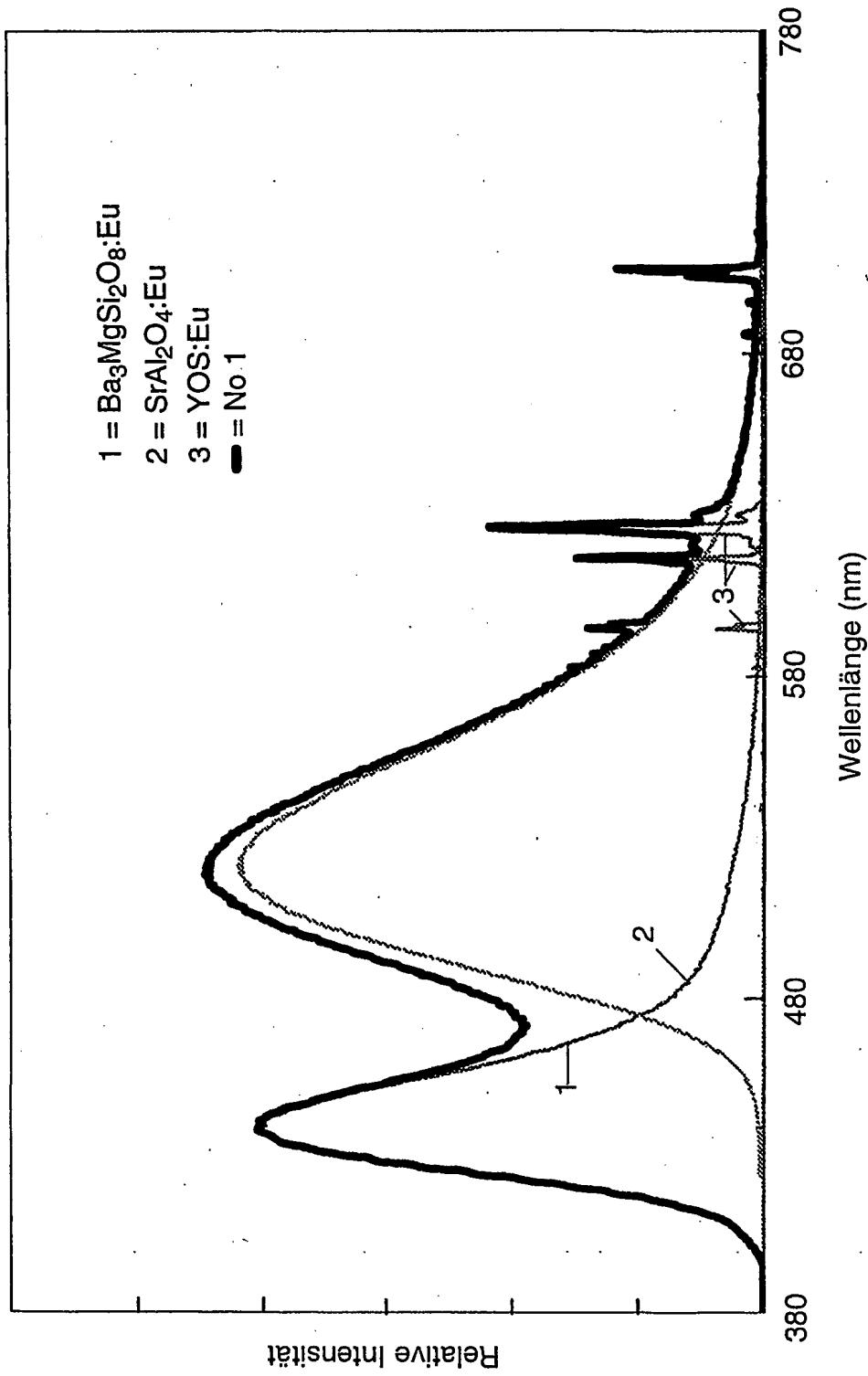


FIG. 3

Ausführungsbeispiel 2

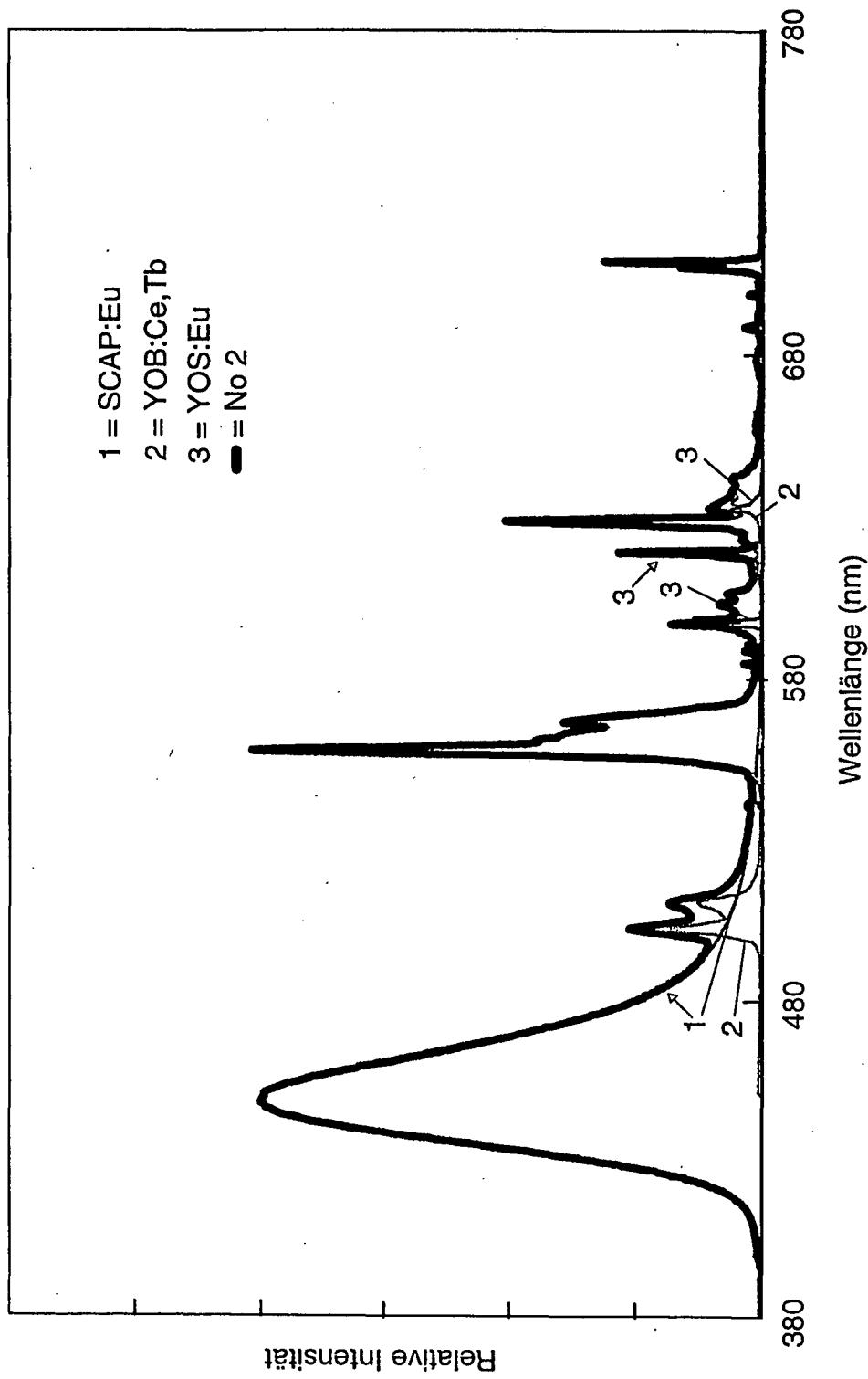


FIG. 4

Ausführungsbeispiel 3

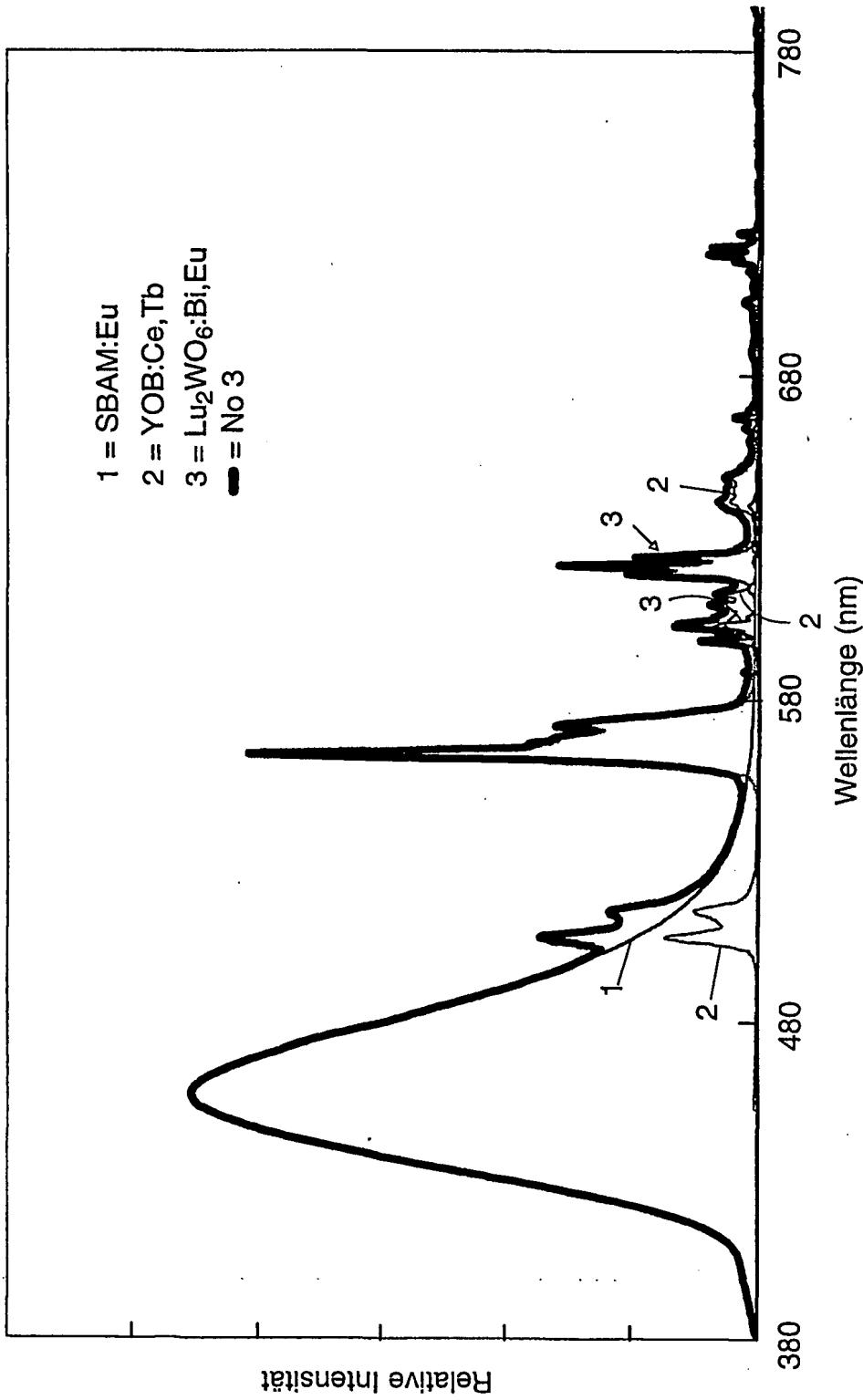


FIG. 5

Ausführungsbeispiel 4

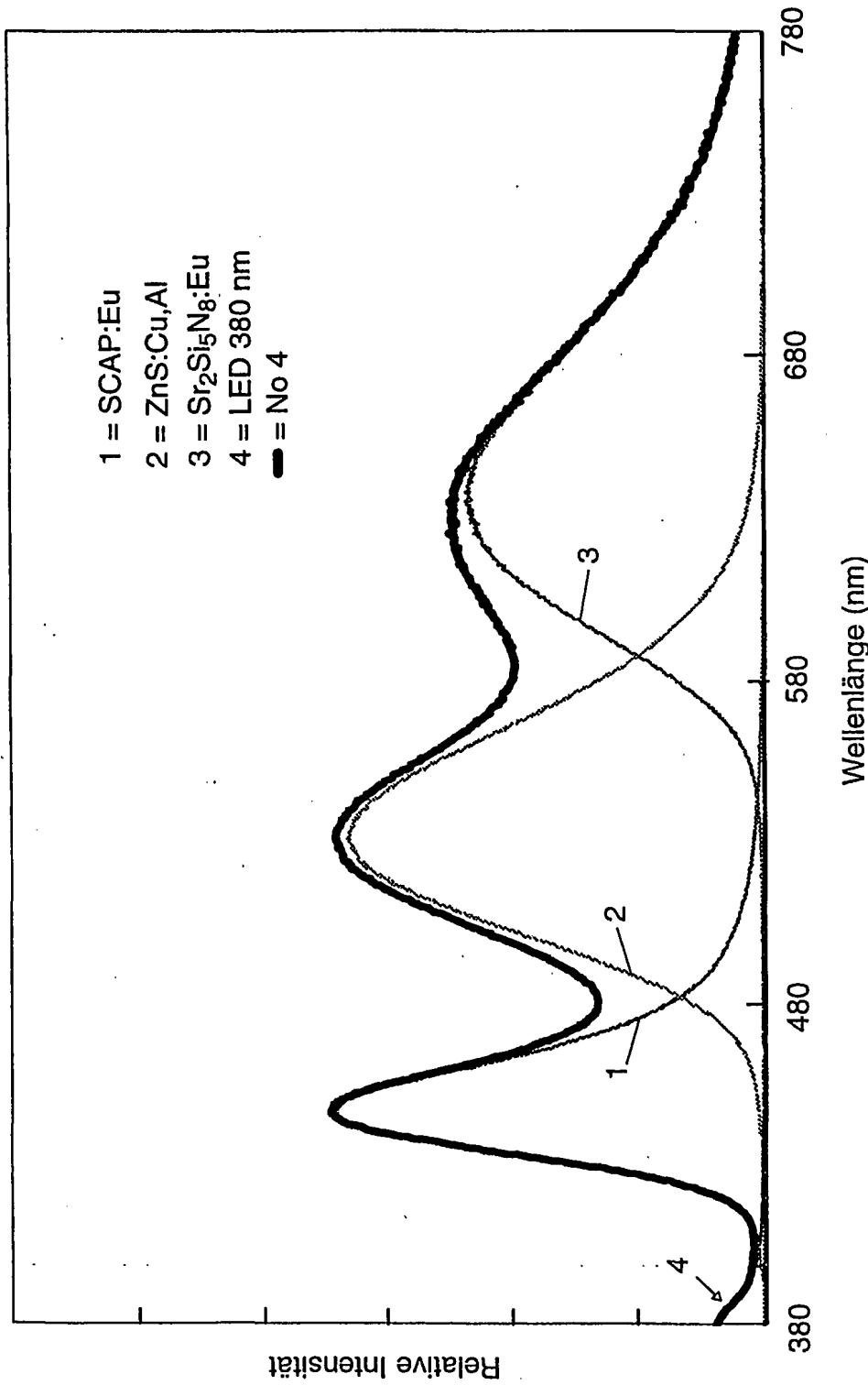


FIG. 6

Ausführungsbeispiel 5

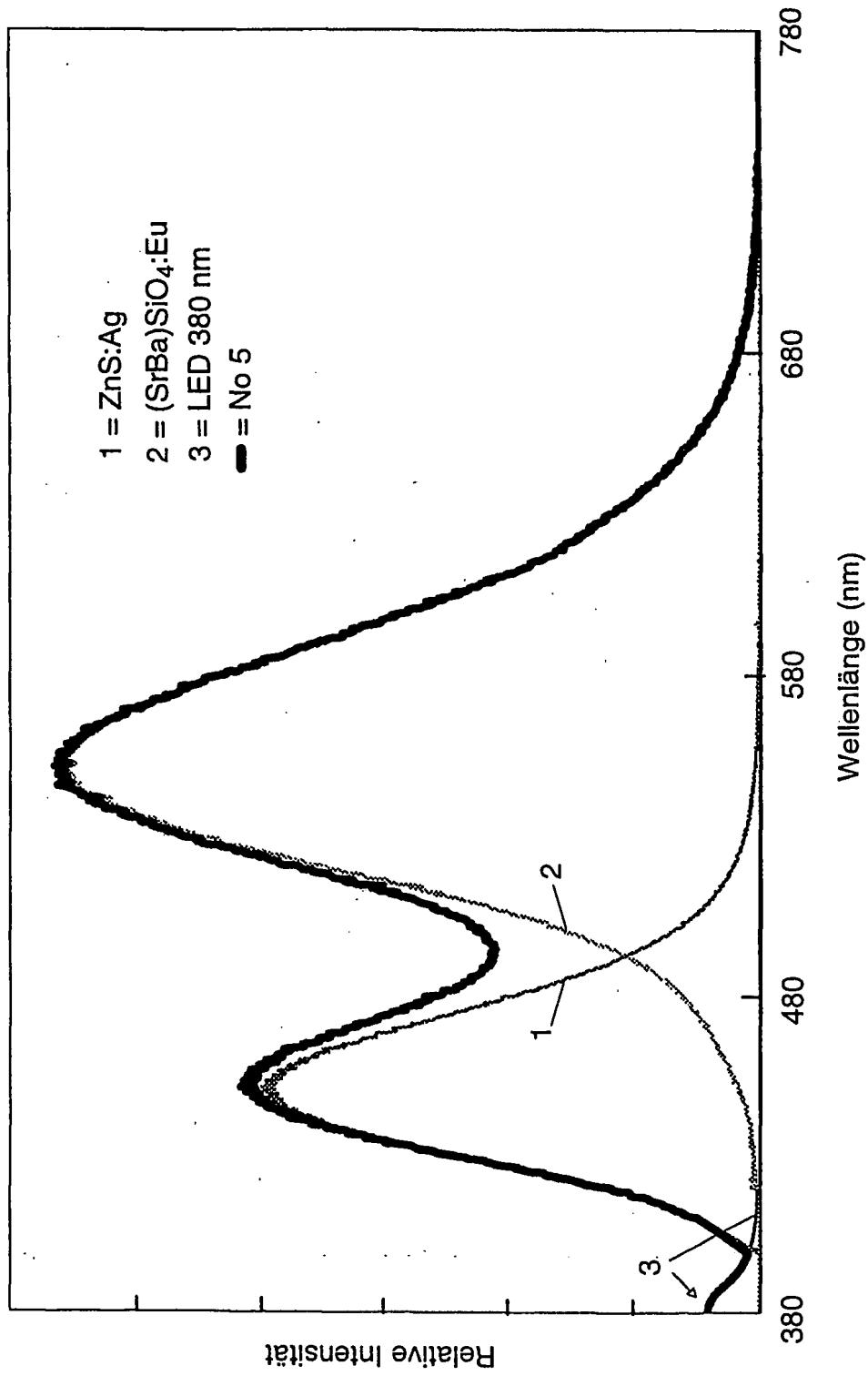


FIG. 7

Ausführungsbeispiel 6

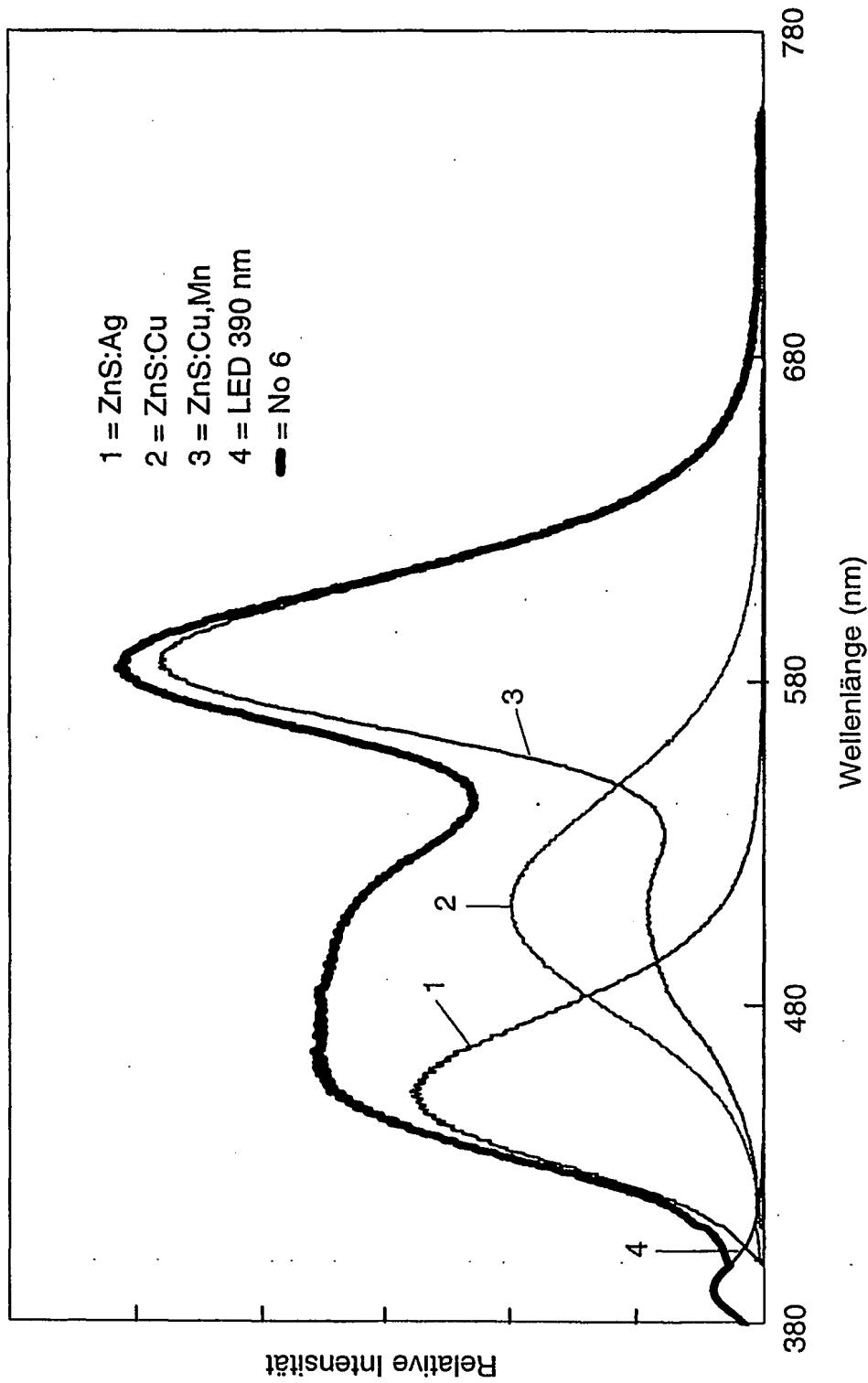


FIG. 8

Ausführungsbeispiel 7

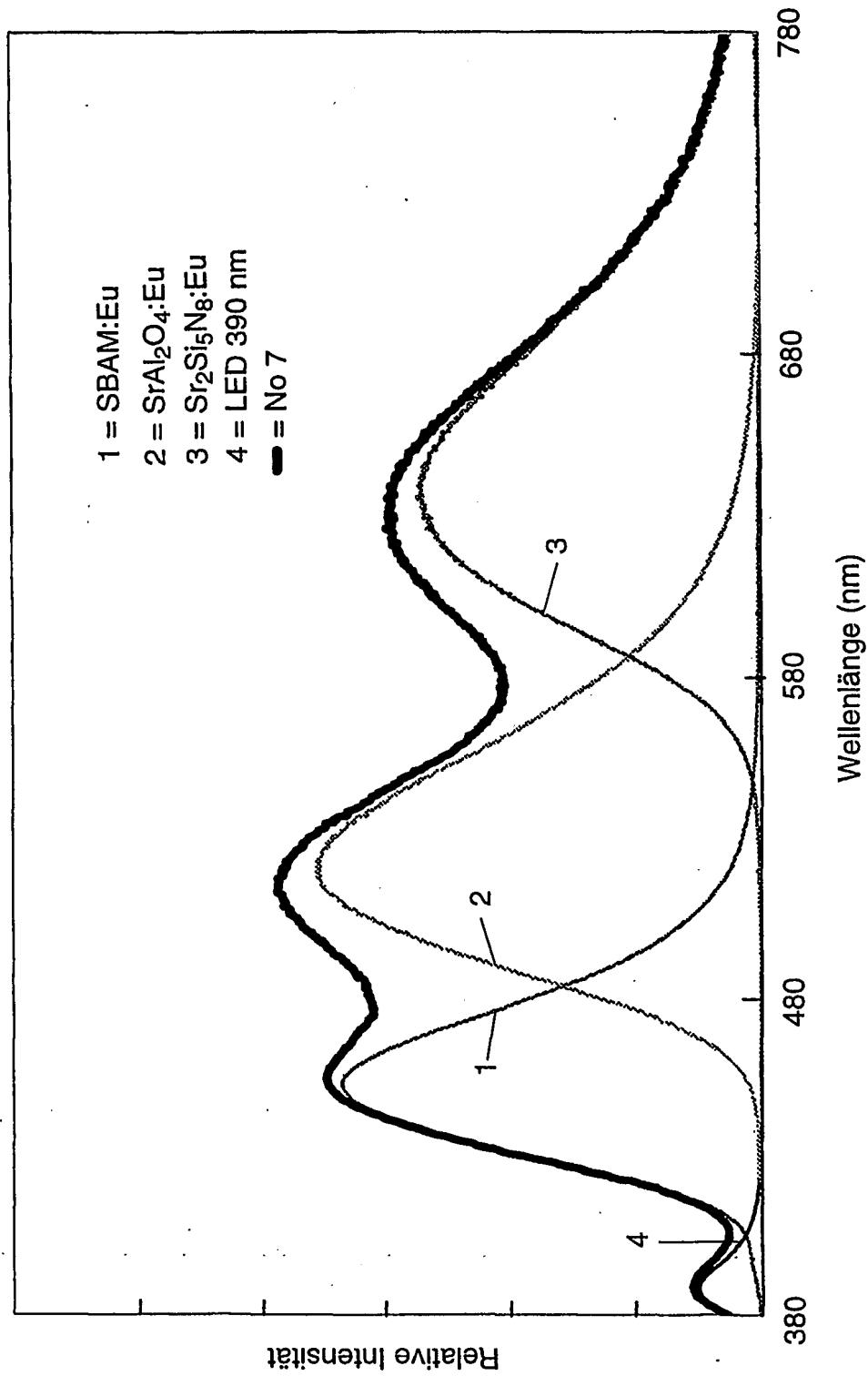


FIG. 9

Ausführungsbeispiel 8

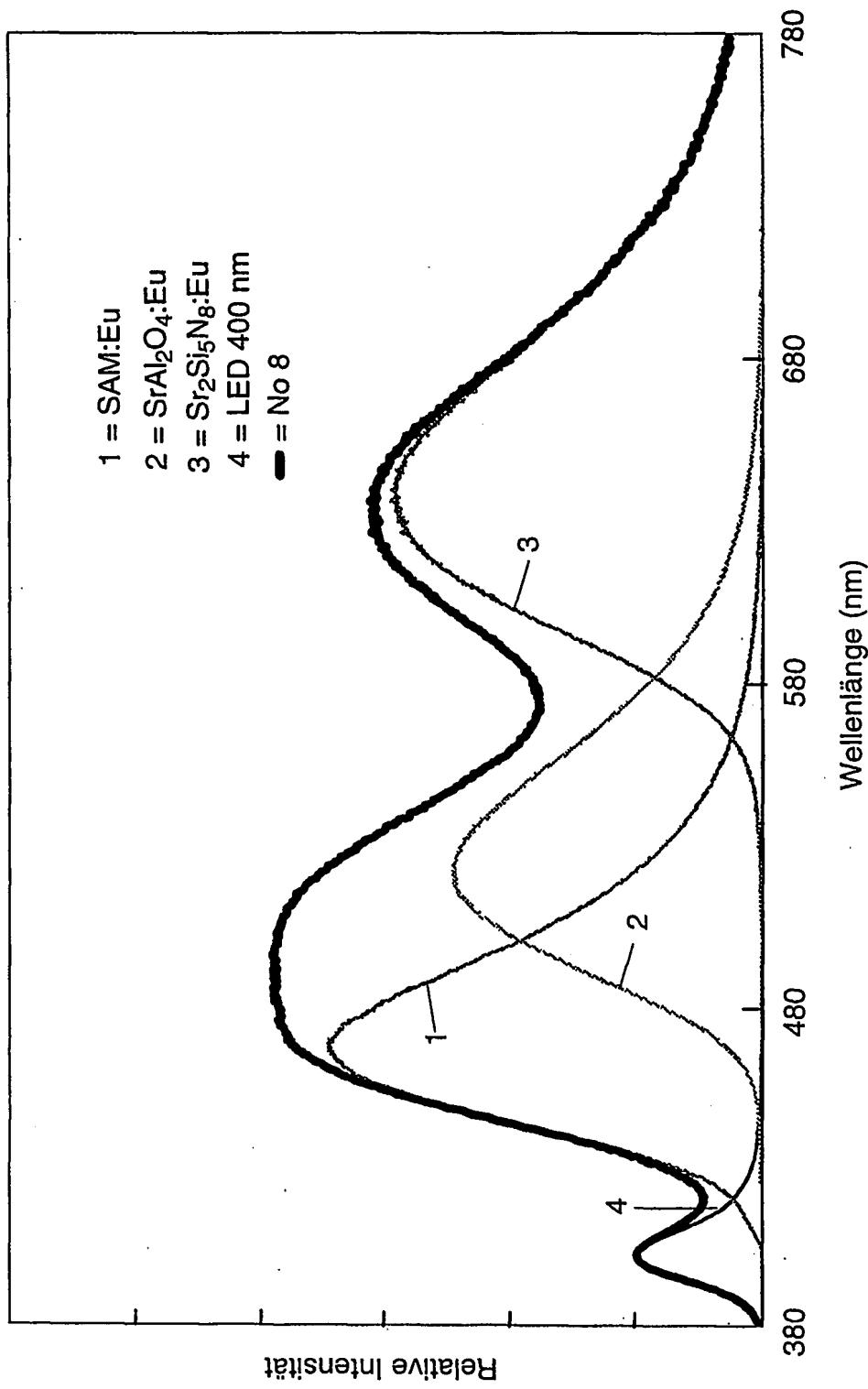


FIG. 10

Ausführungsbeispiel 9

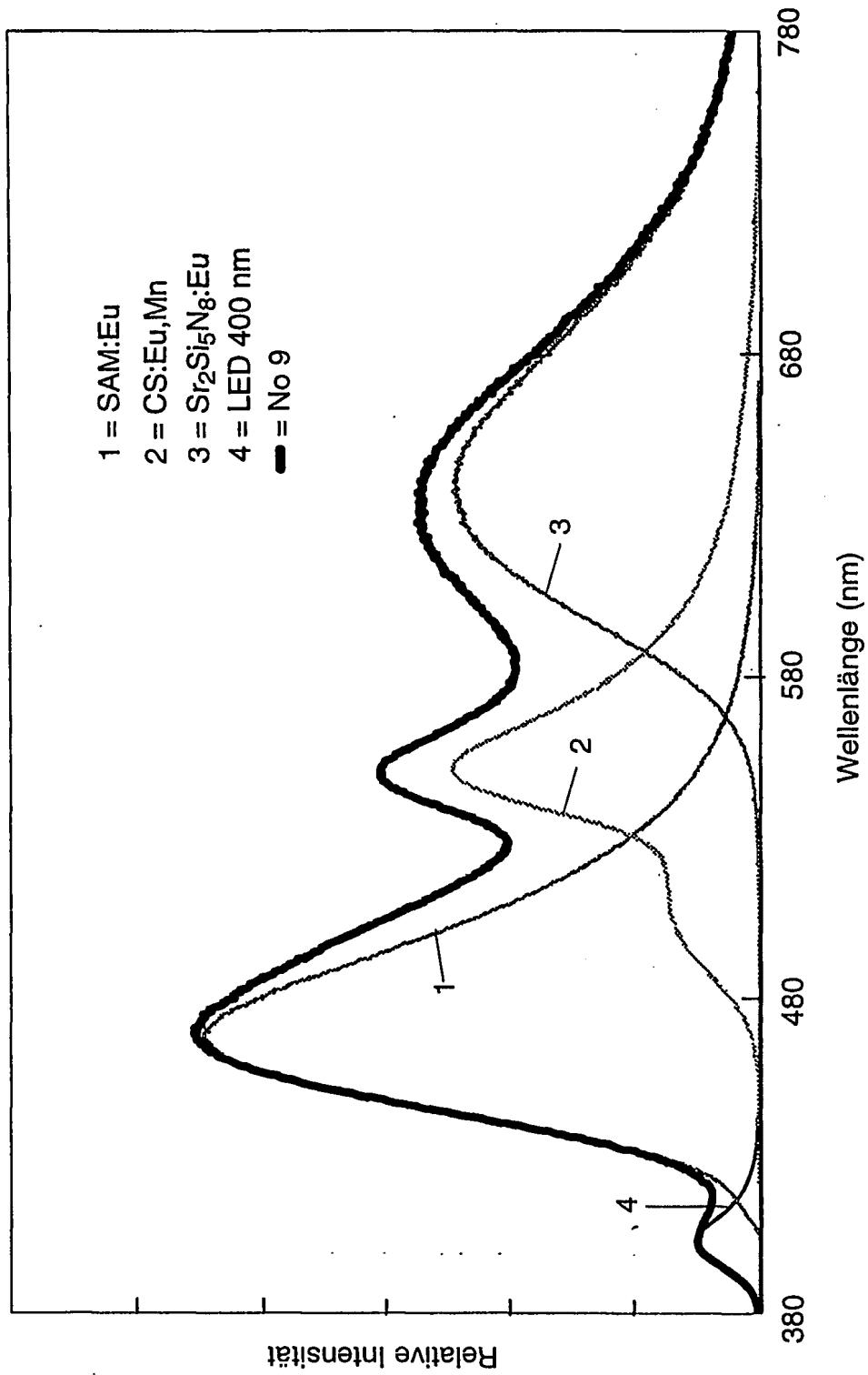


FIG. 11

Ausführungsbeispiel 10

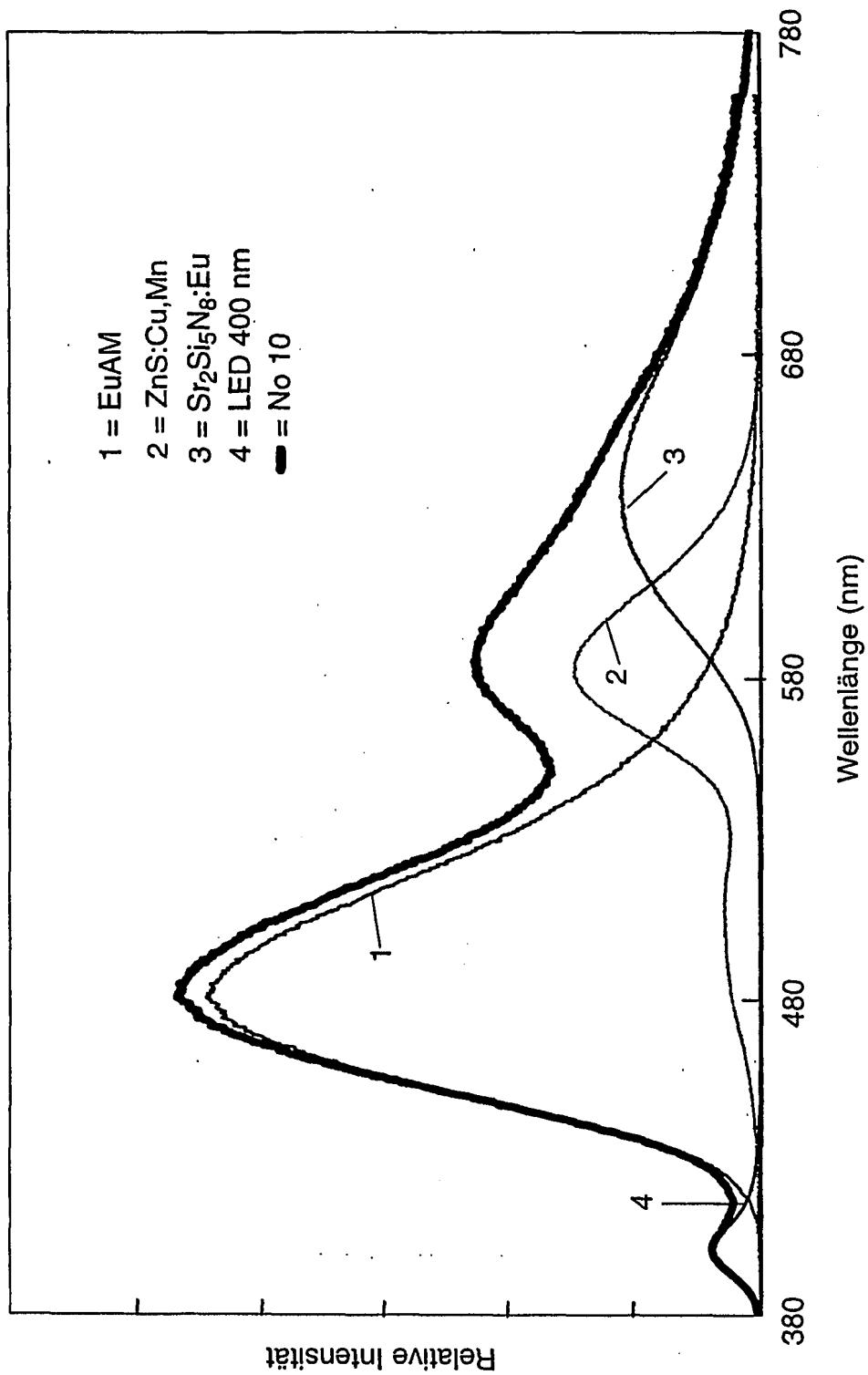


FIG. 12

Ausführungsbeispiel 11

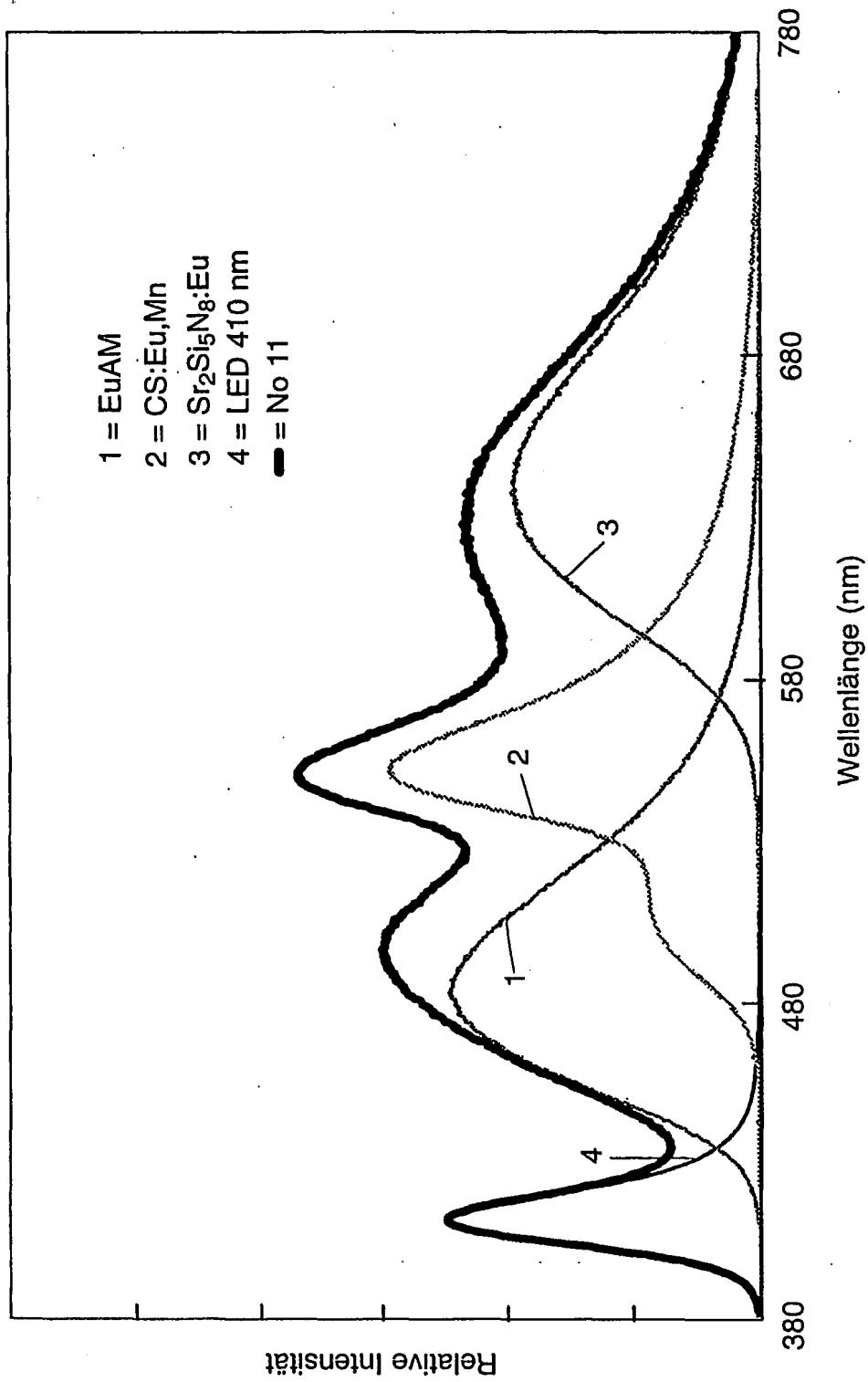


FIG. 13

Ausführungsbeispiel 12

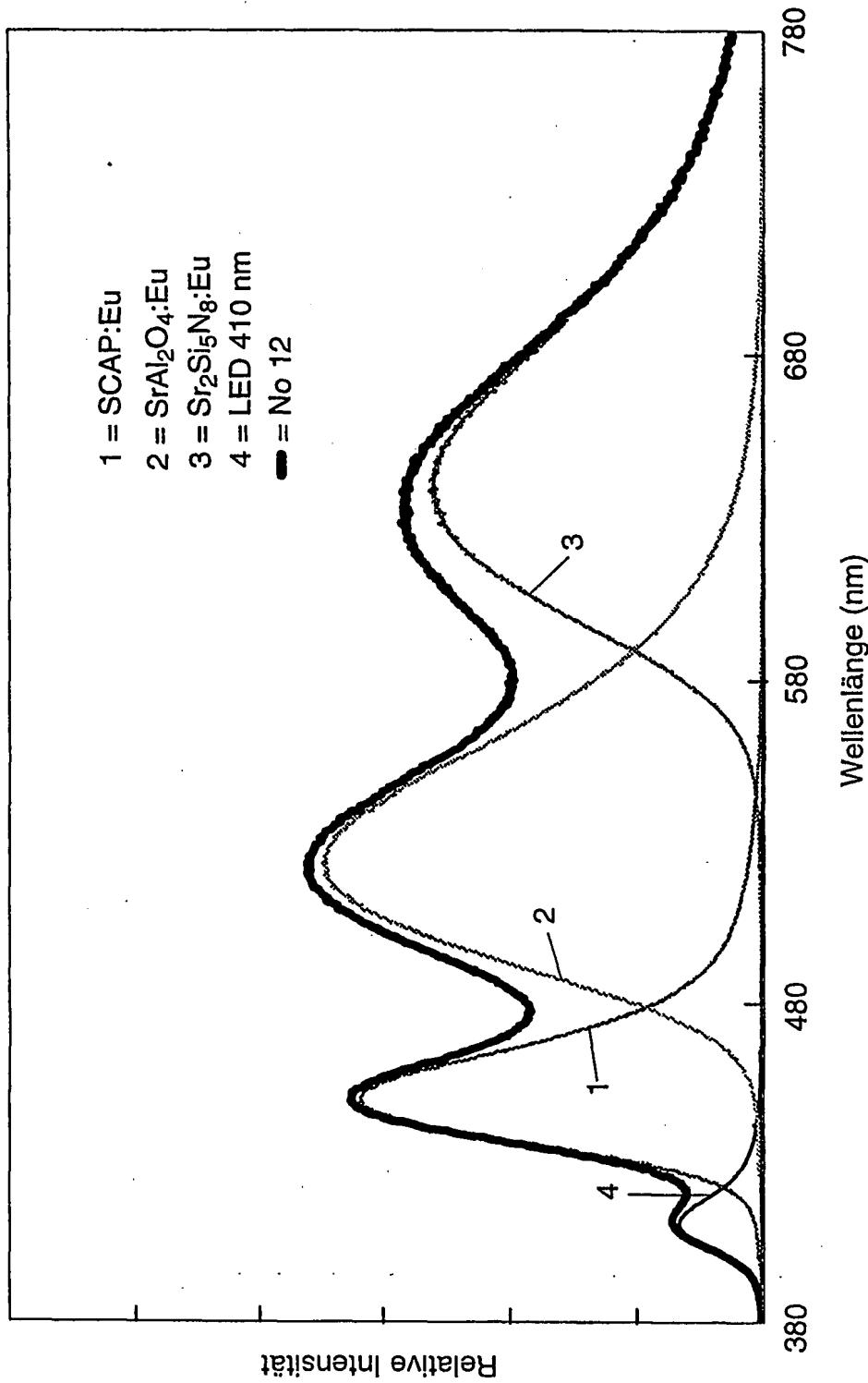


FIG. 14

Ausführungsbeispiel 13

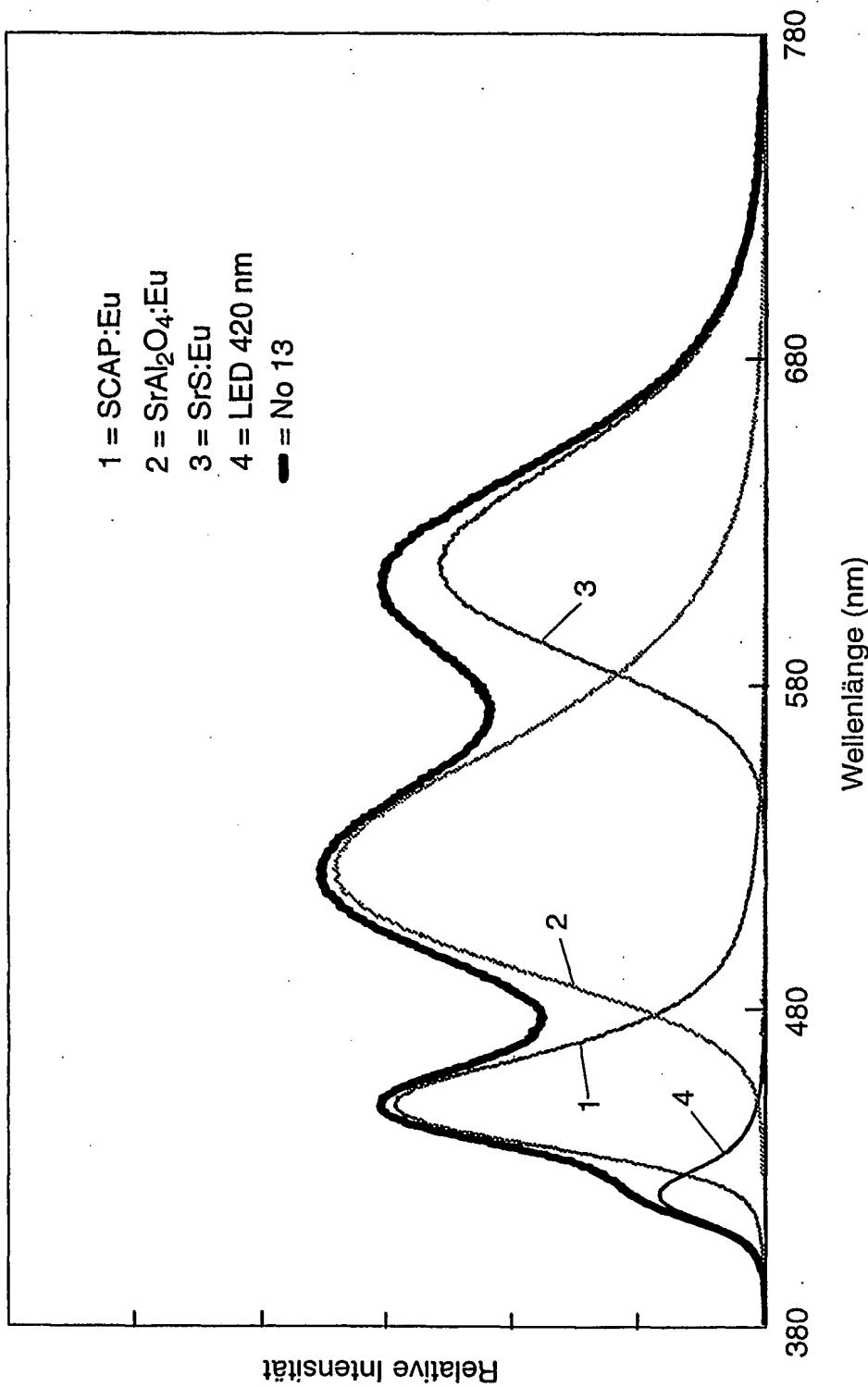


FIG. 15

Ausführungsbeispiel 14

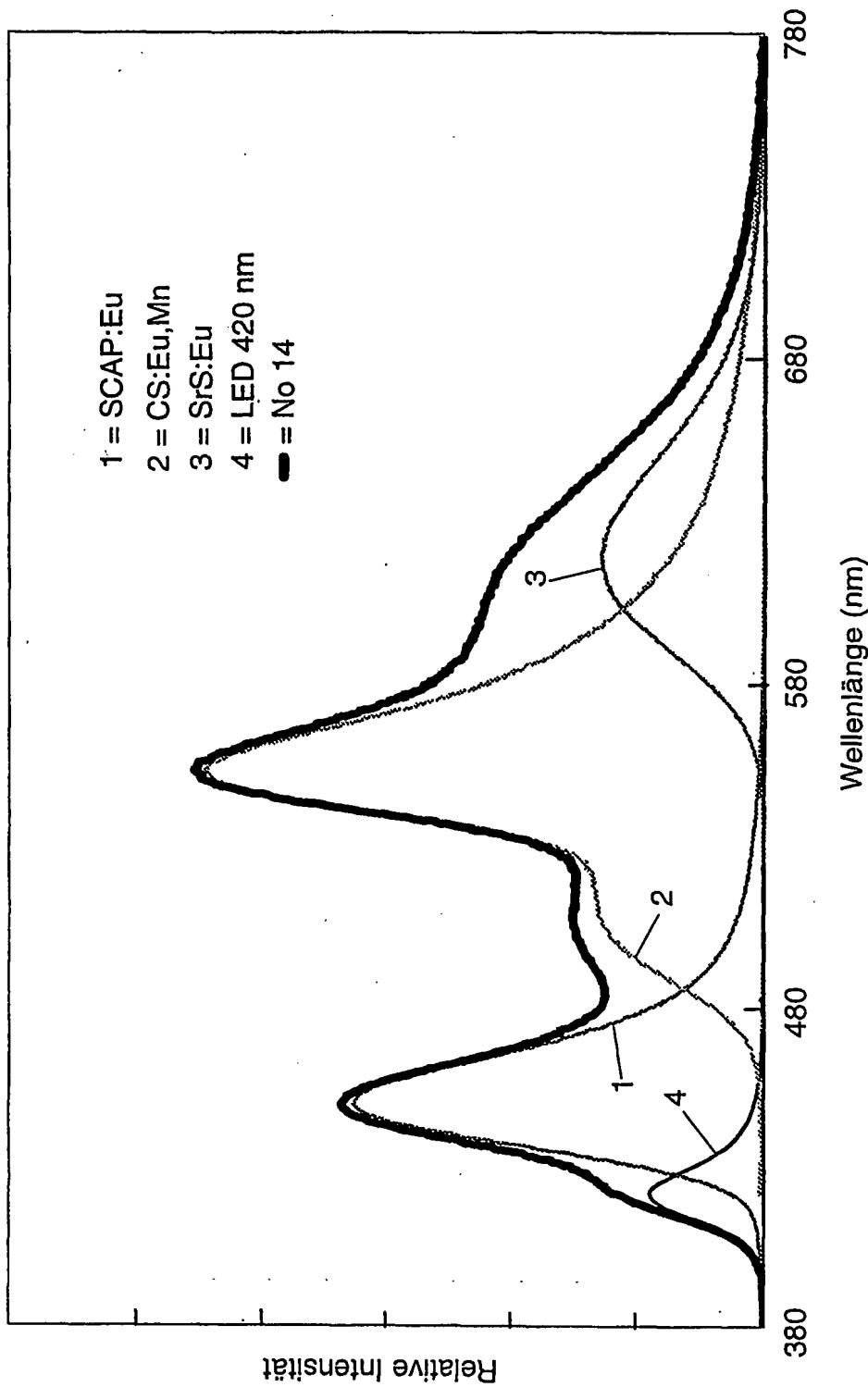


FIG. 16

Ausführungsbeispiel 15

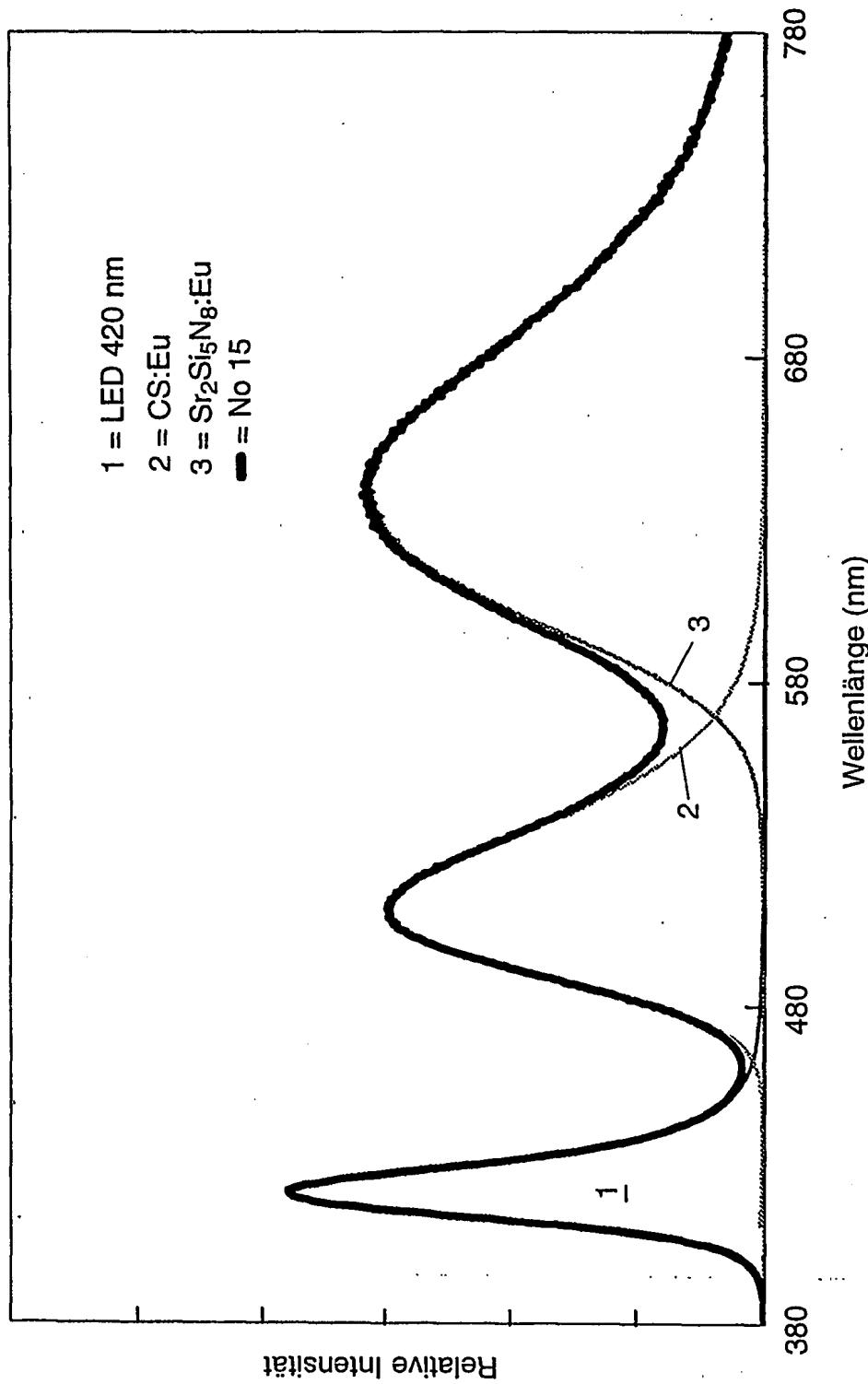


FIG. 17